

ФАРМАКОГНОЗИЯ И БОТАНИКА

Г. Н. Бузук

ФИТОИНДИКАЦИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ШКАЛ И РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет

Предложена методика определения экологического пространства сообществ растений (фитоценозов) с использованием диапазонных экологических шкал. Методика основана на ранжировании диапазонов экологических факторов видов фитоценоза (геоботанического описания) относительно их диапазона толерантности с последующим расчетом уравнений линейной регрессии для верхнего и нижнего диапазонов значений баллов (градаций или ступеней) факторов. Дана возможная интерпретация построенных на основе линий регрессий геометрических фигур и их параметров.

Ключевые слова: экологические шкалы, линейная регрессия, экологическое пространство.

ВВЕДЕНИЕ

Оценка экологических факторов прямыми методами является достаточно дорогой, трудоемкой и часто невыполнимой, особенно для получения информации в полевых условиях при охвате большого количества ландшафтов и их компонентов. Однако в геоботанике достаточно широко распространены фитоиндикационные методы, основанные на балльных экологических шкалах.

Выделяют два типа экологических шкал: точечные (шкалы Элленберга и Ландольта) и диапазонные (шкалы Раменского, Цыганова, Дидуха) [1, 2]. При оценке местообитаний в первом случае используется непосредственно точка расположения вида по шкале фактора (экологический оптимум данного вида по фактору), а во втором – специальные формулы.

Ранее нами предложен новый способ оценки экологического пространства местообитаний [1–2], основанный на применении регрессионного анализа и диапазонных экологических шкал Д. Н. Цыганова и Я. П. Дидуха [3–4]. В его основе лежит положение о том, что лучшими индикаторными свойствами обладают виды с наименьшим диапазоном толерантности [5–7]. Для идеального индикатора этот диапазон стремится к нулю. Задача сводится к нахождению такого гипотетического индикаторного вида с нулевым диапазоном толерантности.

Целью настоящей работы явилась разработка более совершенной методики определения экологического пространства сообществ растений с применением диапазонных экологических шкал.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основные принципы методики были отработаны с использованием геоботанических описаний, опубликованных в печати [8], представленных на сайте «Ценофонд лесов Европейской России» [9], а также собственных геоботанических описаний [1]. Для расчетов и визуализации полученных результатов использовали Excel и Matlab.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве нового подхода нами применено ранжирование диапазонов экологических факторов видов фитоценоза (геоботанического описания) относительно их диапазона толерантности с последующим расчетом уравнений линейной регрессии (1) для верхнего и нижнего диапазонов значений баллов (градаций или ступеней) факторов соответственно [1–2].

$$Y = a + b \cdot X \quad (1),$$

где a – свободный член линейной регрессии, b – наклон линии регрессии, X – переменная (фактор).

Свободный член (а) регрессии соответствует пересечению линий регрессии с осью градаций факторов, а их равенство указывает на пересечение линий регрессии в одной точке. Эта точка и есть характеристика параметра (экологического фактора) для фитоценоза.

Далее, используя линии регрессии в качестве сторон, достраивали треугольник, затем опускали перпендикуляр с вершины треугольника (точка пересечения линий регрессии) на его основание. В результате по каждому фактору получали два прямоугольных треугольника (рисунки 1, 4).

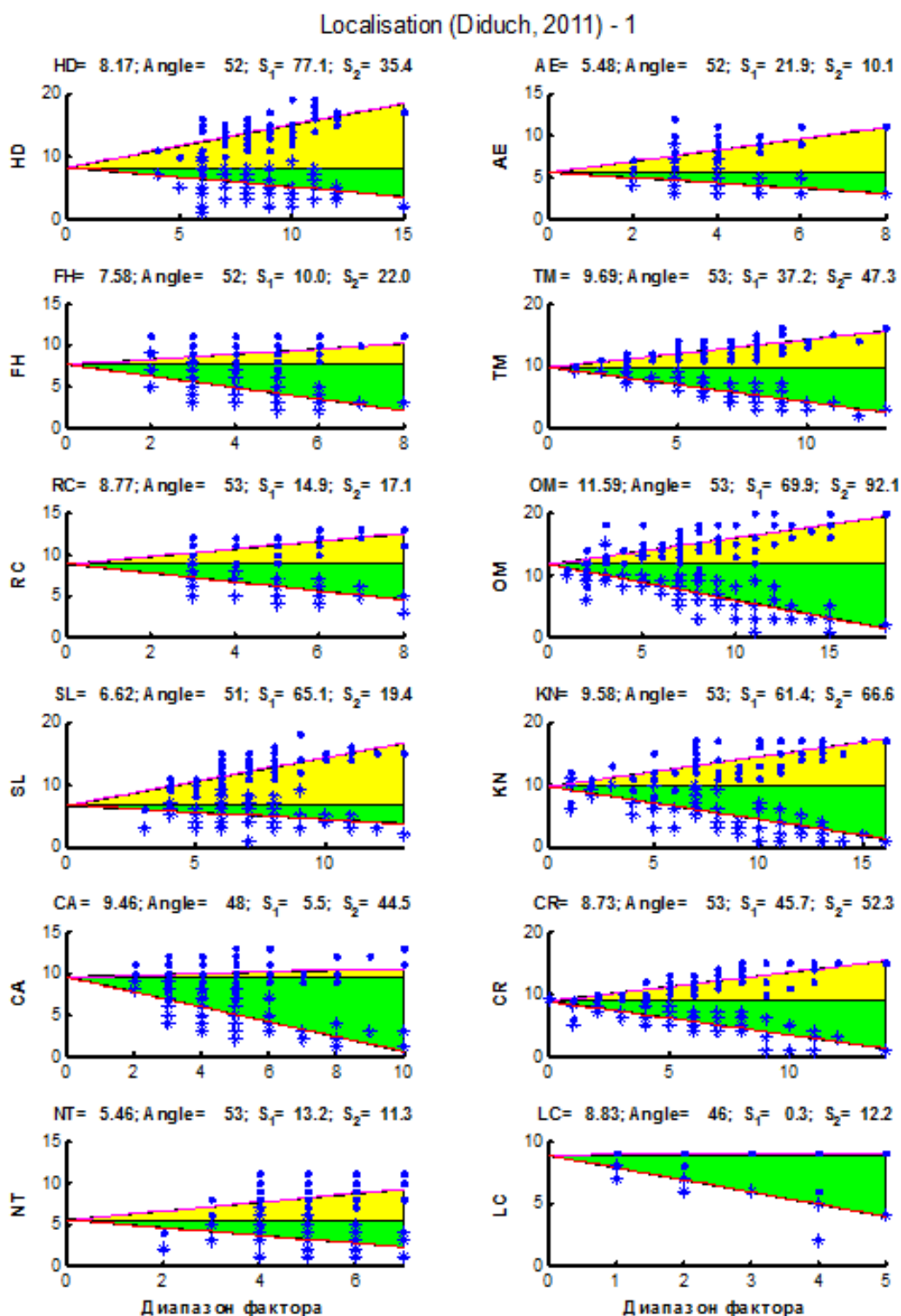


Рисунок 1 – Результаты фитоиндикационного оценивания степной залежи

Параметры полученных геометрических фигур рассчитывали следующим образом.

Угол (L , Angle) между линиями регрессии для верхнего и нижнего диапазонов толерантности как сумму соответствующих углов прямоугольных треугольников:

$$L = \text{abs}(\arctg(b_1 \cdot d_{\max})) + \text{abs}(\arctg(b_2 \cdot d_{\max})) \quad (2),$$

где b_1 и b_2 – наклон линии регрессии для верхнего и нижнего диапазонов толерантности, d_{\max} – максимальный диапазон толерантности видов в фитоценозе (геоботаническом описании) по фактору, \arctg – арктангенс.

Площадь верхнего (S_1) и нижнего (S_2) треугольников рассчитывали по формуле:

$$S_1 = 0,5 \cdot d_{\max} \cdot (d_{\max} \cdot b_1) \\ S_2 = 0,5 \cdot d_{\max} \cdot (d_{\max} \cdot b_2) \quad (3),$$

где b_1 и b_2 – наклон линии регрессии для верхнего и нижнего диапазонов толерантности, d_{\max} – максимальный диапазон толерантности видов в фитоценозе (геоботаническом описании) по фактору.

Далее рассмотрим возможную интерпретацию полученных геометрических фигур и их параметров.

Угол (L , Angle) между линиями регрессии для верхнего и нижнего диапазонов

толерантности, а также площадь треугольника ($S = S_1 + S_2$) могут служить мерой стрессовости фитоценоза: снижение диапазона толерантности ведет к уменьшению угла (L) и площади треугольника (S).

В свою очередь, площадь верхнего и нижнего треугольников сильно варьирует как от фактора к фактору, так и от фитоценоза к фитоценозу, от равенства до полного отсутствия одного из них (рисунки 1, 4).

Равенство площадей верхнего (S_1) и нижнего (S_2) треугольников может быть расценено как указание на то, что значения фактора (или факторов) являются оптимальными для фитоценоза – режим напряженности фактора (градация шкалы), при котором виды фитоценоза находятся в оптимальных условиях (достигается максимальное обилие при отсутствии лимитирующего воздействия других факторов). Их отклонение в ту или иную сторону является следствием лимитирующего сверху или снизу режима напряженности фактора (градация фитоиндикационной шкалы), при котором возможно произрастание видов.

В связи с тем, что экологические шкалы имеют различное число градаций, для удобства сравнения отклонений различных факторов от оптимума применено масштабирование (приведение к 100%), например (рисунки 2–3):

$$HD = HD \cdot 100 / (HD1 + HD2) \quad (4)$$

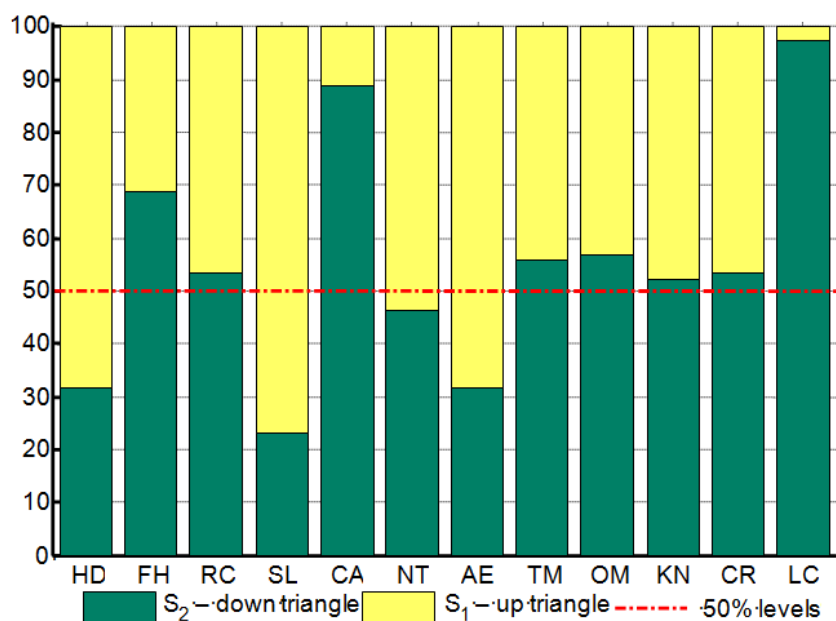


Рисунок 2 – Столбиковая диаграмма фитоиндикационного оценивания степной залежи

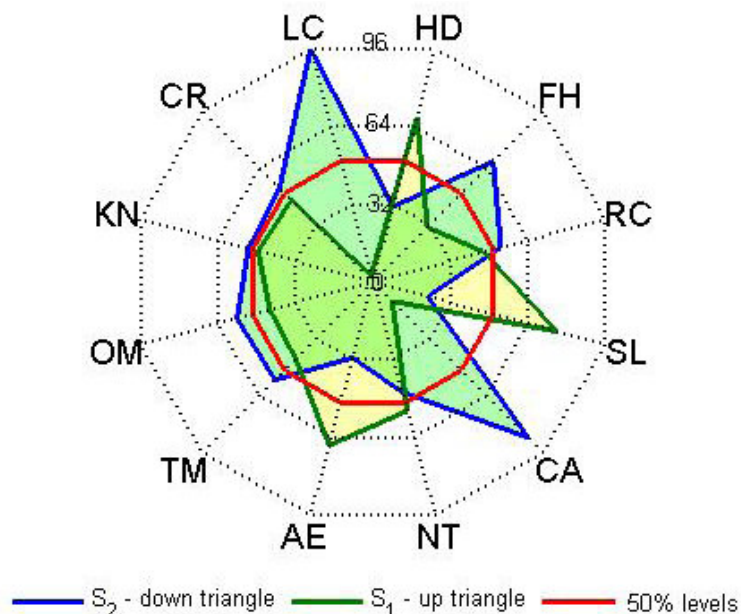


Рисунок 3 – Радарная диаграмма фитоиндикационного оценивания степной залежи

При этом 50% означает оптимум фактора для конкретного фитоценоза. Результаты сравнения представляются в форме столбиковой диаграммы (рисунок 2) и радарного графика (рисунок 3). Выход за «красную» линию (50%) означает наличие ограничивающего влияния (давления) факторов (сверху или снизу экологической шкалы) на фитоценоз.

В качестве примера приводим результаты расчетов экологического пространства для залежей степных районов Украины (рисунки 1–3) [8] по экологическим шкалам Я. П. Дидука [4].

Условия эдафотопов в пределах залежей могут быть охарактеризованы как субксерофитные (**HD** = 8,17), гемигидро-контрастнофильные (**FH** = 7,58), нейтрофильные (**RC** = 8,77), мезотрофные (**SL** = 6,62), гемикарбонатфильные (**CA** = 9,46), геминитрофильные (**NT** = 5,46), субаэрофильные (**AE** = 5,48).

Климатические условия залежей можно оценить как субмезотермные (**TM**=9,69), субаридофитные (**OM**=11,59), гемиконтинентальные (**KN**=9,58), субкриофитные (**CR**=8,73) и гелиофитные (**LC**=8,83).

По преимущественному числу экологических режимов условия залежей соответствуют условиям степных зональных сообществ [8]. Определяющими являются освещенность (**LC**) и карбонатность почвы (**CA**) (рисунки 1–3), что находится в полном соответствии с точкой зрения

Г. И. Танфильева, согласно которой причина безлесия степей заключается в специфике химического состава степных почв, а именно в наличии в почвах высоких концентраций карбонатов [10–11].

В качестве другого примера использования регрессионного метода в фитоиндикации по экологическим шкалам Д. Н. Цыганова [3] мы приводим данные, полученные нами при характеристике лесного биотопа (мелколиственного фитоценоза *Alnus incana-Salix cinerea-Aegopodium podagraria*) (рисунок 4) [1]: слабопеременное влажно-лесолуговое увлажнение, нейтральные, богатые азотистыми соединениями мезотрофные почвы, тип режима освещения светлых лесов, что вполне согласуется с лесотипологическими данными. Здесь фактором, определяющим состав фитоценоза, является уровень азота в почве, влияние других факторов выражено в меньшей степени.

Положительным моментом применения регрессионного способа является его робастность – удаление из геоботанического описания или включение в описание новых видов, за исключением явно стено-топных, что слабо влияет на результаты фитоиндикации. Однако при малом числе видов в геоботанических описаниях, а также при значительном участии в составе фитоценоза видов с широким диапазоном толерантности результаты становятся нестабильными.

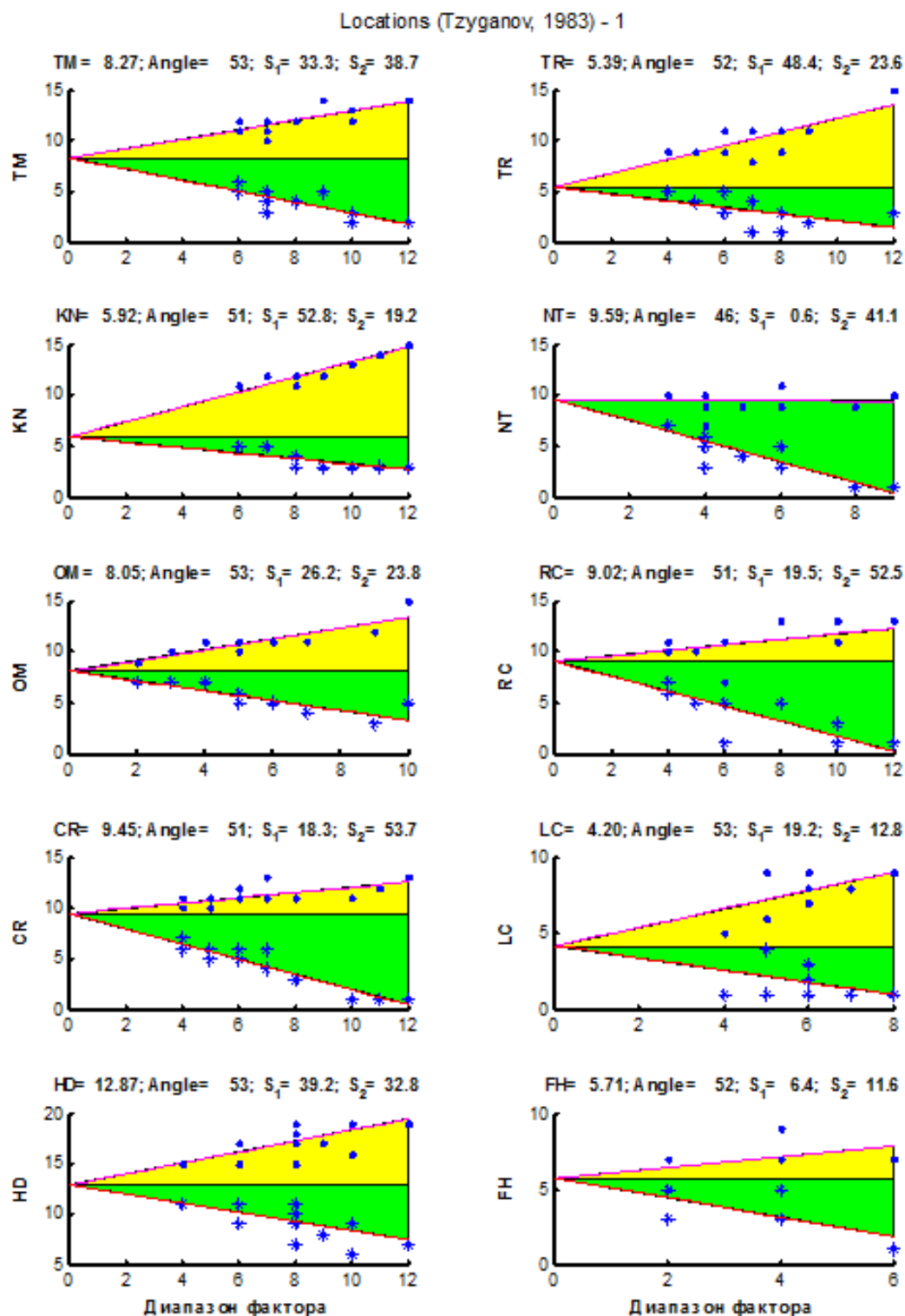


Рисунок 4 – Результаты фитоиндикационного оценивания
мелколиственного фитоценоза

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена методика определения экологического пространства сообществ растений (фитоценозов) с использованием диапазонных экологических шкал. Методика основана на ранжировании

диапазонов экологических факторов для составляющих фитоценоз видов относительно их диапазона толерантности с последующим расчетом уравнений линейной регрессии для верхнего и нижнего диапазонов значений баллов (градаций или ступеней) факторов. Дана возможная

интерпретация построенных на основе линий регрессий геометрических фигур и их параметров в плане оптимальности факторов местообитания для составляющих фитоценозов видов.

SUMMARY

G. N. Buzuk
 THYTOINDICATION BY USING
 ECOLOGICAL SCALES AND
 REGRESSION ANALYSIS

The technique of determination of ecological space of communities of plants (phytocoenoses) by using diapasonal ecological scales is proposed. The technique is based on ranking of diapasons of ecological factors of species of phytocoenose (geobotanical description) relative to their tolerance diapason with subsequent calculation of linear regression equations for upper and lower diapasons of values (shades or steps) factors. The possible interpretation based on regression lines of geometric figures and their settings is given.

Keywords: ecological scales, linear regression, ecological space.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бузук, Г. Н. Фитоиндикация: применение регрессионного анализа / Г. Н. Бузук, О. В. Созинов // Вестник фармации. – 2007. – № 3. – С. 44–50.
2. Бузук, Г. Н. Регрессионный анализ в фитоиндикации (на примере экологических шкал Д. Н. Цыганова) / Г. Н. Бузук, О. В. Созинов // Ботаника (исследования): Сборник научных трудов / Ин-т эксперимент. бот. НАН Беларуси. – Минск: Право и экономика, 2009. – Вып. 37. – С. 356–362.
3. Цыганов, Д. Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов / Д. Н. Цыганов // М.: Наука. 1983. – 196 с.
4. Didukh, Ya. P. The ecological scales for the species of Ukrainian flora and their use in synphytoindication / Ya. P. Didukh // Kyiv: Phytosociocentre, 2011. – 176 p.
5. Зверев, А. А. Сравнительный анализ растительности с использованием фитоиндикационных шкал / А. А. Зверев // Сборник статей и лекций IV Всероссийской школы-конференции «Актуальные проблемы геоботаники» (1–7 октября 2012 г.). – Уфа: Издательский центр «МедиаПринт», 2012. – С. 25–46.
6. Экологические шкалы и методы анализа экологического разнообразия растений: монография / Л. А. Жукова [и др.]; под общ. ред. проф. Л.А. Жуковой; Мар. гос. ун-т. – Йошкар-Ола, 2010. – 368 с.
7. Королюк, А. Ю. Использование экологических шкал в геоботанических исследованиях / А. Ю. Королюк // Актуальные проблемы геоботаники. III Всероссийская школа-конференция. Лекции. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. – 2007. – С. 177–199.
8. Сулейман, Д. Н. Экологическая оценка флоры и растительности разновозрастных залежей Донецкой и Луганской областей Украины. Канд. дисс. / Д. Н. Сулейман. – 2016. – 194 с.
9. Ханина, Л. Г. Характеристика экологических шкал / Л. Г. Ханина // Ценофонд лесов Европейской России // Режим доступа: <http://mfd.cepl.rssi.ru/flora/ecoscale.htm>. – Дата доступа: 16.01.2016.
10. Танфильев, Г. И. Пределы лесов на юге России / Г. И. Танфильев. – СПб., 1894. – 174 с.
11. Усольцев, В. А. О статусе древесной растительности на экотоне лес – степь / В. А. Усольцев, А. И. Колтунова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2012. – Т. 4. – №. 36-1. – С. 8–12.

Адрес для корреспонденции:

210023, Республика Беларусь,
 г. Витебск, пр. Фрунзе, 27,
 УО «Витебский государственный
 ордена Дружбы народов
 медицинский университет»,
 кафедра фармакогнозии
 с курсом ФПК и ПК,
 тел. раб.: 8 (0212) 64-81-78,
 buzuk@tut.by,
 Бузук Г.Н.

Поступила 16.01.2017 г.